

**В.В. ГОРЮШКО, Д.А. ДАНИЛЬЧЕНКО, В.В. ЛИЩИНА, П.И. БЕЗКОСТНЫЙ, И.С. ЯКОВЕНКО, И.В. ЯКИМЕНКО, Ю.В. ТКАЧЕВ, Б.Г. ПЕРЕВЕРЗЕВ**

### **ДИАГНОСТИКА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПРИ ПОМОЩИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПОВЫШЕННОЙ ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ**

В статье рассмотрены возможности диагностики воздушных линий электропередач с помощью беспилотных летательных аппаратов. Были проанализированы различные типы летательных аппаратов, их недостатки и преимущества. По результатам анализа, для коптеров был выявлен общий недостаток, малая дальность полета и из-за высокой скорости полета БПЛА («самолета») недостаточная точность фиксации параметров линии. Авторами предлагается использование коптеров для мониторинга воздушных линий. Описано оборудование необходимое для мониторинга воздушных линий. Особое внимание уделено зарядному устройству, позволяющему увеличить дальность полета коптера. За счет преобразования энергии электромагнитного поля в электродвижущую силу с последующим выпрямлением полученного тока для питания коптера.

**Ключевые слова:** линия электропередачи, мониторинг, коптер, БПЛА, зарядное устройство, наведенные напряжения.

**В.В. ГОРЮШКО, Д.А. ДАНИЛЬЧЕНКО, В.В. ЛИЩИНА, П.И. БЕЗКОСТНЫЙ, И.С. ЯКОВЕНКО, И.В. ЯКИМЕНКО, Ю.В. ТКАЧЕВ, Б.Г. ПЕРЕВЕРЗЕВ**

### **ДІАГНОСТИКА ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З ПІДВИЩЕНОЮ ДАЛЬНОСТЮ ПОЛЬОТУ**

У статті були розглянуті можливості діагностики повітряних ліній електропередачі за допомогою безпілотних літальних засобів. Були проаналізовані різні види літальних засобів, їх недоліки та переваги. За результатами аналізу, для коптерів було знайдено спільний недолік, мала дальність польоту і із-за високої швидкості польоту БПЛЗ («літака») недостатня точність фіксації параметрів ліній. Авторами пропонується використання коптерів для моніторингу повітряних ліній. Описано обладнання необхідне для моніторингу повітряних ліній. Особлива увага надається зарядному пристрою, який дозволяє збільшити дальність польоту коптера.

**Ключові слова:** лінія електропередачі, моніторинг, коптер, БПЛА, зарядний пристрій, наведені напруги.

**V.V.GORYUSHKO, D.O. DANYLCHENKO, V.V. LISHINA, P.I. BESKOTNIY, I.S. YAKOVENKO, I.V. YAKIMENKO, Y.V. TKACHEV, B.G. PEREVERZEV**

### **DIAGNOSTICS OF OVERHEAD POWER LINES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH EXTENDED RANGE**

The article considers the possibilities of diagnostics of overhead power lines using unmanned aerial vehicles with extended range. Various types of aircraft, their shortcomings and advantages were analyzed. According to the results of the analysis, for Copters there was a general lack, a short flight range and the need for an operator to control the Copter. Because of the high flight speed of the UAV (the "aircraft"), it is not possible to provide sufficient accuracy of fixing the line parameters and the coordination of the allocation by the air traffic controllers of the flight altitude. The authors propose the use of Copters with the possibility of unmanned flight and recharging from the transmission line with induced voltages for monitoring air lines. The equipment of the copter, necessary for monitoring of overhead lines, is described. Particular attention is paid to the charger, which allows to increase the range of the flight of the Copter. By transforming the energy of the electromagnetic field into an electromotive force and then rectifying the resulting current to supply the copter. The use of such a copter makes it possible to achieve savings in the cost of servicing overhead power lines and substations, reduce the negative effect of the magnetic field on maintenance staff, and increase the safety of maintenance personnel and work crews.

**Key words:** power line, monitoring, copter, UAV, charger, induced voltages.

**Введение.** Энергетика является базовой отраслью экономики любого государства. Для нормального функционирования энергосистем, поддержания качественного и бесперебойного электроснабжения потребителей необходимо следить за техническим состоянием оборудования.

Линии электропередач является ключевым элементом энергетической системы. Потому диагностика линий электропередач является неотъемлемой частью для нормального функционирования системы. Это довольно трудоемкая задача, которая требует решения ряда проблем с организацией управления прогнозирования и мониторинга ситуаций природного и техногенного характера.

С развитием современных технологий все большую популярность набирает использование беспилотных летательных аппаратов в разных сферах общественной деятельности в исследованиях и диагностике.

**Постановка проблемы.** На данный момент, линии электропередач осматриваются

обслуживающим персоналом раз в год. Линии в свою очередь проходят по пересеченной местности (леса, поля, болота, водоемы), что несомненно усложняет осмотр ЛЭП. Так же необходимо проводить верховой осмотр линий раз в 5 лет. Для этого затрачивается множество денежных и человеческих ресурсов. Все эти задачи может выполнять и летательный аппарат для обследования ЛЭП. Развитие летательных аппаратов в мире происходит постоянно и в высоком темпе. В Украине ситуация с развитием подобных летательных аппаратов характеризуется неразвитыми производственными мощностями и не массовостью выработки продукции, но довольно качественными единичными образцами. Поэтому говоря про летательные аппараты, мы можем сказать, что они могут быть применены для диагностики линий электропередач.

Рассмотрим виды летательных аппаратов на данный момент:



Рис. 1 – общий вид БПЛА

Беспилотные летательные аппараты используют для аэрофотосъемки, патрулирования, геодезических изысканий, мониторинга различных объектов и даже для доставки покупок на дом.

Преимущества и недостатки БПЛА

Беспилотные летательные аппараты обладают следующими преимуществами:

- Возможность создания небольших БПЛА, способных выполнять различные задачи диагностики и мониторинга.
- Беспилотные аппараты способны проводить наблюдение и передавать информацию практически в режиме реального времени.

- Высокая скорость и мобильность.

Кроме несомненных преимуществ, современные БПЛА имеют и целый ряд недостатков:

- Недостаточная гибкость применения
- Пока не до конца решены многие вопросы связи, взлета, посадки;
- Уровень надежность дронов не достаточно высок;
- Полеты дронов усложнены из-за необходимости согласования с авиадиспетчерами.

Виды мультикоптеров

- Мультикоптерами называют аппараты с количеством роторов больше одного и расположенных в одной плоскости. Приставка, на греческом и латинском языке, перед словом «коптер» означает количество моторов.

Бикоптер (два ротора).

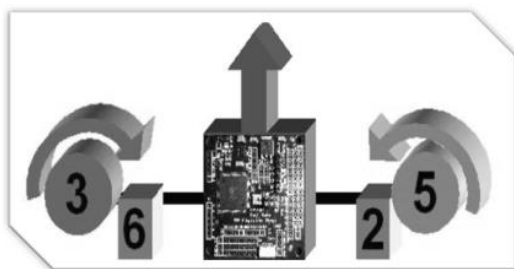


Рис. 2 – схема бикоптера

*Особенности:* моторы вращаются в разных направлениях с целью компенсации реактивного момента. Для стабилизации аппарата моторы отклоняются с помощью сервоприводов.

*Достоинства:* низкое энергопотребление, маленькие габариты, низкая цена.

*Недостатки:* при отказе одного двигателя – неизбежное падение, маленькая грузоподъемность, низкая стабильность, сложная конструкция.

- Трикоптер (три ротора).

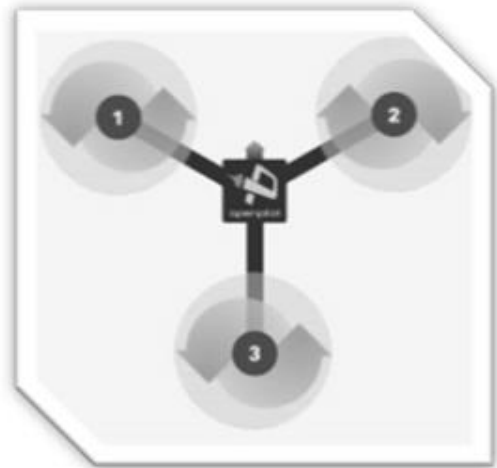


Рис. 3 – схема трикоптера

*Особенности:* два передних мотора вращаются в противоположных направлениях, а третий в любую сторону. Для компенсации реактивного момента и поворота аппарата отклоняется хвостовой мотор с помощью сервопривода.

*Достоинства:* низкий вес, компактность, это самые дешевые мультикоптеры, поскольку для их постройки требуется всего 3 мотора и 3 регулятора скорости.

*Недостатками* таких аппаратов является сложная конструкция, маленькая грузоподъемность и при отказе одного двигателя коптер, неизбежно, падает.

Теперь перейдем к схеме мультикоптера с самым популярным расположением моторов!

Квадрокоптер (четыре ротора).

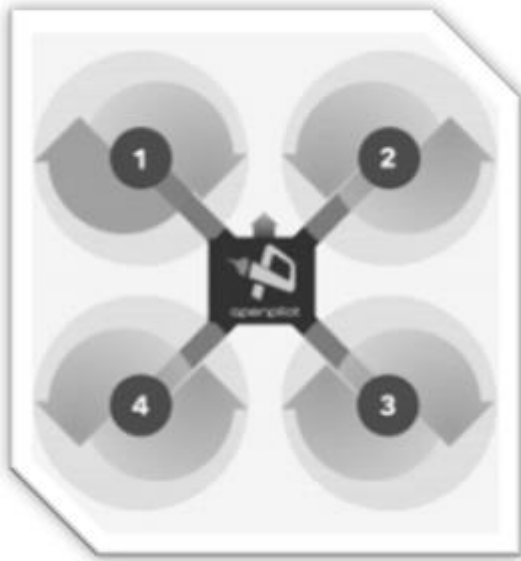


Рис. 4 – схема квадрокоптера

Особенностью таких аппаратов является вращение моторов диагонально, в противоположных направлениях (например, если моторы 1 и 3 вращаются по часовой стрелки, то моторы 2 и 4 – против часовой стрелки). Таким образом компенсируется реактивный момент.

Достоинства: простая конструкция без поворотных механизмов, как у двух предыдущих аппаратов.

Недостатки: при отказе одного двигателя – неизбежное падение.

Гексокоптер (шесть роторов).

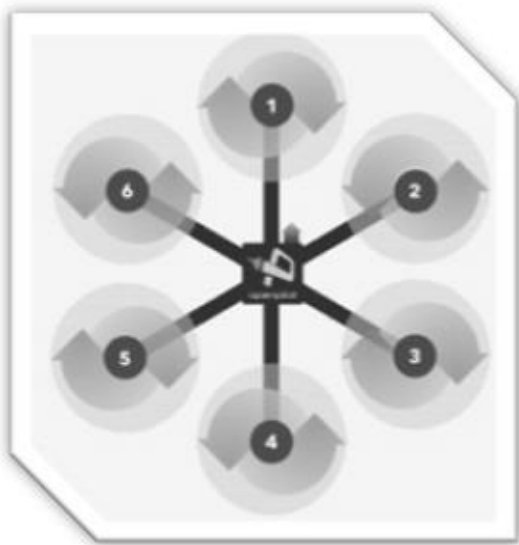


Рис. 5 – схема гексокоптера

Они вбирают в себя все положительные черты квадрокоптеров.

*Достоинства:* при отказе одного мотора аппарат не падает, большая грузоподъемность, стабильность, маленькая чувствительность к ветру.

*Недостатки:* короткое время полёта, большие габариты и высокая цена.

Октокоптер (восемь роторов).

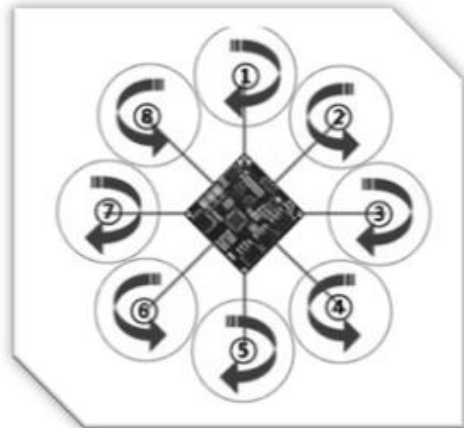


Рис. 6 – схема октокоптера

Достоинства: крайне стабилен и не чувствителен к ветру, при отказе одного и даже двух моторов – аппарат не падает. Очень большая грузоподъемность (до 16-17 кг.). Только этим аппаратам можно доверить подъем в воздух таких дорогих камер, как RED EPIC и ей подобных.

Недостатками этих аппаратов является огромное энергопотребление и высокая цена.

Все варианты схем мультикоптеров могут быть коаксиальными (на одном луче расположены два мотора друг над другом)

Достоинства: более стабильны при отказе моторов, имеют меньшие габариты при, практически, тех же тяговых характеристиках.

В полете такие коптеры более устойчивы и способны летать чуть дольше — либо за счет более емкой батареи, либо за счет более экономичного режима работы моторов, не на пике оборотов. Квадрокоптеры так же не способны летать при поломке одного мотора, поэтому для серьезных применений — полетов с камерой например — они малопригодны.



Рис. 7 – общий вид квадрокоптера

Из вышеизложенного мы видим, что для обследования ЛЭП нам больше подходят квадрокоптеры. Именно коптеры благодаря умеренной скорости полета и точности мониторинга параметров линий.

Результаты. Для мониторинга ЛЭП мы предлагаем использовать

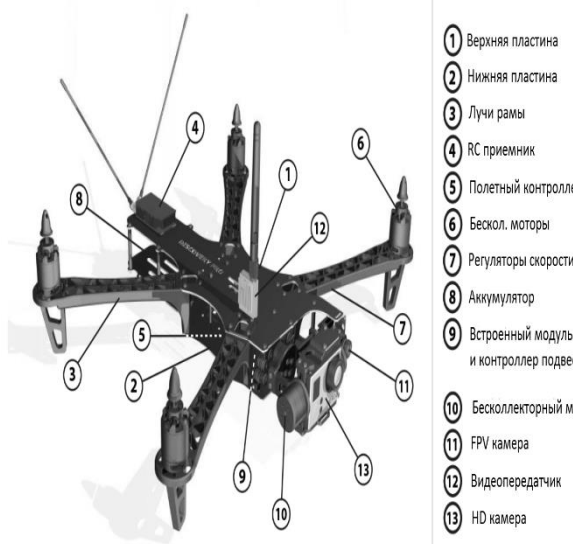


Рис. 8 – структурная схема коптера

Модернизированный Октокоптер «DJI S1000 plus» с контроллером полета «DJI A2» является актуальным аппаратом для выполнения данной задачи. Модернизация заключается в оснащении октокоптера такими элементами, как камера, тепловизор, передатчик/приемник видео, АКБ, мини компьютер, жесткий диск SSD, комплект датчиков, полетный контролер, датчик температуры для АКБ,

зарядное устройство, бортовой выпрямитель, амортизирующее крепление, коннекторы батареи, аппаратура управления

Все это оборудование потребляет мощность а для коптеров нехватка мощности это основная проблема. И по тому мы предлагаем установить на коптер зарядное устройство, которое решит эту проблему. Линия электропередач создает магнитное поле, катушка попадает в это магнитное поле и с помощью наведенных напряжений наводится ЭДС. Выпрямитель выравнивает напряжение и ток до параметров необходимых для аккумулятора.

Зарядное устройство работающее от наведенного напряжения линии электропередач:

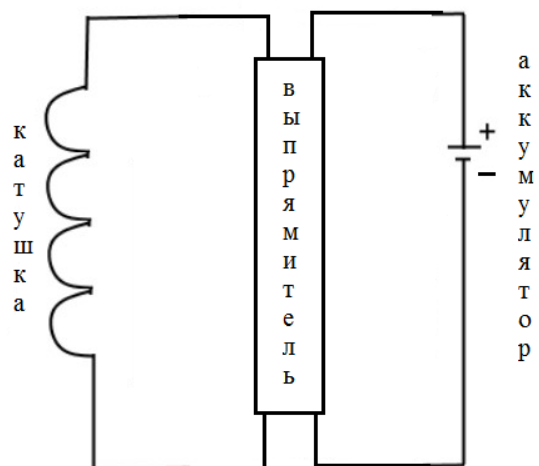


Рис. 9 – схема зарядного устройства

**Выводы.** Рассмотрена возможность использования основных видов БПЛА для диагностирования линий электропередач. Предложена конструктивная модификация БПЛА для

дополнительной подзарядки за счет наведенного напряжения. Теоретические исследования подтверждают, что за счет наведенного напряжения, которое передается через трансформатор или напрямую на выпрямитель возможно заряжать аккумулятор. Это дает возможность добиться экономии затрат на обслуживание воздушных линий электропередач, подстанций за счет снижения количества обслуживающего персонала.

#### Список литературы:

1. Туровский Я. Техническая электродинамика / Я. Туровский. – М.: Энергия, 1974. – 448 с.
2. Ганус А. И. Опыт АК «Харьковоблэнерго» по эксплуатации кабельных линий / А. И. Ганус // Электрические сети и системы. – 2013. – № 5. – С. 37 – 43.
3. Беспрозванных А. В. Критерии оценки степени старения силовых кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией / А. В. Беспрозванных, Е. С. Москвитин // Электротехника і електромеханіка. – 2013. – № 4. – С. 32 – 36.
4. Пат. 60285 Україна, МПК Н 01 В 7/02 Кабель силовий / В. М. Золотарьов, В. П. Карпушенко, М. П. Чувурін, Ю. П. Антоненко, Науменко О. А.; заявник та патентовласник закрите акціонерне товариство «Завод Південкабель». – № 2003077178; заявл. 30.07.03; опубл. 15.09.03, Бюл. № 9.

5. Иванов Л. В. Статистический подход к обработке социологических данных / Л. В. Иванов // Труды междунар. конф. «Социология и математика». – Т. 2. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – С. 5 – 9.

#### References:

1. Turovskij Ja. *Tekhnicheskaja jelectrodinamika* [Technical electrodynamics]. Moscow.: Jenergija Publ., 1996. 448 p.
2. Ganus A. I. Opyt AK «Har'kovoblenergo» po jekspluatacii kabel'nyh linij [Experience of AK «Har'kovoblenergo» on cable lines operation]. *Jeletricheskie seti i sistemy*. 2013, no. 5, pp. 15 – 18.
3. Besprozvannyh A. V. Moskvitin E. S. Kriterii ocenki stepeni starenija silovyh kabelej s bumazhno-propitannoj izoljaciej [Criteria for assessment of power cables aging extent] *Elektrotehnika i elektromehanika*. [Electrical Engineering & Electromechanics]. Kharkov, 2013. no. 4, pp. 32 – 36.
4. Zolotar'ov, V. M. Karpushenko V. P., Chuvurin M. P., Antonec' Ju. P., Naumenko O. A. *Kabel' silovij* [Power cable] Pat. of Ukraine, no. 2003077178, 2003.
5. Ivanov L. V. Statisticheskij podhod k obrabotke sociologicheskikh dannyh [Statistical approach to the processing sociological data]. *Trudy mezhdunar. konf. «Sociologija i matematika»*. T. 2. [Proc. of the Int. Conf. «Sociology and Mathematics». Vol. 2]. – Kharkov, NTU «KhPI» Publ., 2006, pp. 5 – 9.

Поступила (received) 16.05.14

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Горюшко Вадим Вадимович (Горюшко Вадим Вадимович, Vadim Vadimovich Goryushko)** – директор з інформаційних технологій «НЕК «Укренерго», м. Київ; тел.: 0503305075; e-mail: goriushko.vv@ua.energy.

**Ліщина Владислав Володимирович (Ліщина Владислав Володимирович, Lishchina Vladislav Vladimirovich)** – аспірант каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: +380953848677; e-mail: Duskone39@gmail.com.

**Данильченко Дмитро Олексійович (Данильченко Дмитрій Алексеевич, Danilchenko Dmitro Oleksiyovich)** – асистент каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: 093 98 92 362; e-mail: danylchenko.e@khpi.edu.ua.

**Ткачов Юлій Віталійович (Ткачов Юлій Витальевич, Tkachov Yuliy Vitaliyovich)** – студент каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: 0951058448;

**Безкостний Павло Ігорович (Безкостный Павел Игоревич, Bezkostnyi Pavlo Igorovich)** – студент каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: 0962271800; e-mail: bezkostniy@ukr.net.

**Яковенко Іван Сергійович (Яковенко Іван Сергеевич, Yakovenko Ivan Sergiyovich)** – студент каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: 0688855789; e-mail: i.c.jakovenko@gmail.com.

**Якименко Іван Володимирович (Якименко Іван Володимирович)** – студент каф. ПЕЕ, НТУ "ХПІ", м. Харків; тел.: 0688855789; e-mail: i.c.jakovenko@gmail.com.

**Переверзєв Богдан Геннадійович (Переверзєв Богдан Геннадійович, Pereverzev Bogdan Gennadiyevich)** – студент каф. фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології ХНУ ім В.Н.Каразіна

Укладач: С. О. Федорчук, аспірант.